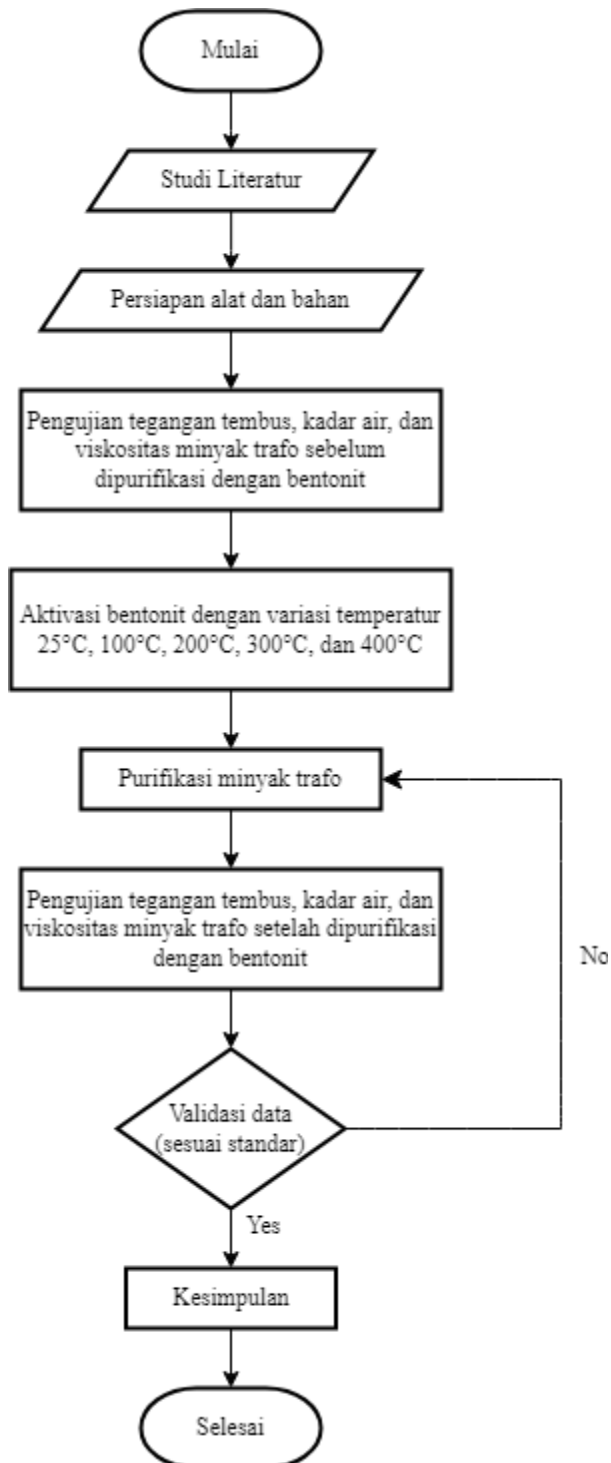


BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Flowchart Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1.1 Studi Literatur

Studi literatur pada diagram alir penelitian ini merupakan kajian teori atau studi pustaka yang berkaitan dengan tema dan dijadikan acuan untuk topik yang dibahas pada penelitian ini. Adapun referensi yang diambil berasal dari jurnal, buku, maupun *website* terkait dengan tema dan judul yang dibahas pada penelitian ini. Kajian teori terkait penelitian ini antara lain transformator daya, minyak transformator, karakteristik minyak transformator, kegagalan isolasi minyak transformator, syarat-syarat minyak transformator, dan material bentonit.

3.1.2 Persiapan Alat dan Bahan

1. Minyak Transformator

Sampel minyak isolasi yang digunakan yaitu minyak transformator bekas Shell Diala S4 yang berasal dari PT Mukti Elektrik yang berlokasi di Jl. Jend. Sudirman, Sindangrasa, Kec. Ciamis, Kab. Ciamis. minyak yang diambil sebanyak 5 liter dan nantinya akan dibagi lagi menjadi 5 sampel minyak dengan berat masing-masing 500 ml untuk kemudian dicampurkan dengan adsorben bentonit pada proses purifikasi atau pemurnian minyak trafo.



Gambar 3.2 Minyak Transformator

2. Material Bentonit

Material yang digunakan sebagai adsorben pada penelitian ini yaitu material Ca-bentonit yang berasal dari pengusaha tambang bentonit (CV Ariyanto Bentonit) yang berlokasi di daerah Parakanhonje, Bantarkalong, Kab. Tasikmalaya. Bentonit yang diperoleh berupa bubuk lempung bentonit yang nantinya akan dibagi lagi menjadi 15 gram untuk setiap sampel pada masing-masing pengujian.



Gambar 3.3 Bubuk Bentonit

3. Deionized Water

Deionized Water atau air DI (aquades) adalah air murni yang tidak mengandung ion-ion organik di dalamnya. Pada penelitian ini *Deionized Water* atau air DI (aquades) digunakan sebagai bahan untuk mengukur nilai persentase dari porositas material bentonit. *DI water* yang digunakan sebanyak 1 liter.



Gambar 3.4 *Deionized Water* (Aquades)

3.1.3 Pengujian Minyak Trafo sebelum purifikasi dengan Bentonit

Pengujian minyak trafo sebelum purifikasi atau proses pemurnian dengan penambahan bentonit dilakukan untuk menguji karakteristik dielektrik dari minyak trafo sebelum dilakukan pencampuran bubuk bentonit pada minyak trafo. Karakteristik dielektrik yang diuji diantaranya tegangan tembus, kadar air, dan viskositas minyak trafo. Peralatan uji yang digunakan untuk pengukuran antara lain alat uji tegangan tembus HV-Terco yang terdiri dari trafo uji AC 220/100kV, pembagi kapasitif, *chamber* uji, elektroda setengah bola, dan *control* panel berupa layar monitor yang dapat menampilkan nilai pengujian secara digital serta untuk mengatur nilai tegangan yang diberikan, kemudian Memmert U10 Oven untuk memanaskan minyak pada pengukuran kadar air, dan Viscotester VT-06 RION Digital untuk mengukur kadar kekentalan minyak.

3.1.4 Aktivasi Bentonit

Proses aktivasi bertujuan untuk meningkatkan daya serap bentonit terhadap kontaminan atau zat pengotor pada minyak transformator dengan memanaskan bentonit pada furnace dengan variasi suhu 100°C, 200°C, 300°C, dan 400°C sehingga pori-porinya dapat terbuka lebih lebar dan daya serapnya meningkat. Alat pemanas yang digunakan yaitu Furnace Nabertherm dengan batas suhu pemanasan 1100°C.



Gambar 3.5 Muffle Furnace Nabertherm

Tahapan pada proses aktivasi ini antara lain sebagai berikut:

1. Menyiapkan 75 gram bentonit untuk dipanaskan pada variasi suhu 100°C, 200°C, 300°C, dan 400°C dengan laju pemanasan 5°C/menit.
2. Mengatur program pada furnace untuk variasi suhu 100°C selama 15 menit, 200°C selama 35 menit, 300°C selama 55 menit, dan 400°C selama 75 menit.
3. Meletakkan bentonit pada tatakan besi dan memasukkannya ke dalam furnace serta memulai program yang telah diatur sesuai dengan kebutuhan.
4. Tunggu sampai tungku akan memberikan sinyal berupa bunyi sebagai tanda bahwa proses pemanasan telah selesai.
5. Biarkan suhu menurun terlebih dahulu, lalu angkat bentonit yang telah dipanaskan menggunakan sarung tangan.

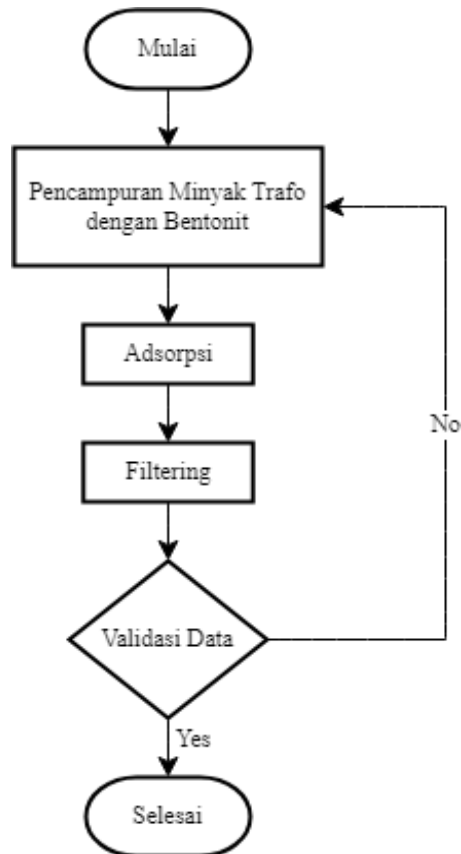
Setelah proses aktivasi, 75 gram bentonit yang telah dipanaskan kemudian dibagi menjadi beberapa sampel untuk pengujian porositas dan purifikasi. Pengujian porositas dilakukan untuk mengukur persentase pori-pori pada material bentonit yang belum dan telah diaktivasi. Pengujian dilakukan dengan melakukan pengukuran terhadap massa bentonit sebelum dan setelah direndam di dalam *DI water* selama 2 jam untuk proses adsorpsi. Untuk pengukuran massa ditimbang menggunakan neraca digital analitik.



Gambar 3.6 Neraca Digital Analitik

Sementara itu nilai dari persentase porositas bentonit dapat dihitung menggunakan persamaan 2.8.

3.1.5 Purifikasi Minyak Trafo



Gambar 3.7 Diagram Alir Purifikasi Minyak Trafo

Purifikasi minyak trafo dilakukan untuk membersihkan kotoran serta endapan-endapan pada minyak dengan tujuan agar karakteristik dielektrik dari minyak dapat diperbaiki. Proses purifikasi dilakukan dengan mencampurkan bentonit yang telah diaktivasi dengan lima variasi temperatur berbeda sebanyak 15 gram ke dalam 500 ml minyak transformator bekas di dalam gelas ukur, kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan kurang lebih 750-1000 Rpm hingga suhunya mencapai 70°C dan didiamkan selama 24 jam untuk proses adsorpsi (penyerapan) agar adsorben dapat menyerap kontaminan dengan baik. Bobot perbandingan untuk pencampuran bentonit dan minyak trafo diperoleh melalui persamaan berikut:

$$\text{Berat bentonite per ml minyak trafo} = \frac{\text{massa bentonit}}{\text{Berat minyak transformator}} \quad (3.1)$$

Berdasarkan hasil pengukuran, diketahui beberapa data sebagai berikut:

Massa Bentonit	= 15 gram
Massa Gelas Beaker	= 137 gram
Massa 500 ml Minyak Trafo	= 565 – 137
	= 428 gram

Maka, bobot perbandingan antara berat bentonite dan minyak transformator adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Berat bentonite per ml minyak trafo} &= \frac{\text{massa bentonit}}{\text{Berat minyak transformator}} \\ &= \frac{15 \text{ gram}}{428 \text{ gram}} \\ &= 0,035 \\ \text{Persentasi bobot perbandingan} &= \frac{\text{Berat bentonit per ml minyak trafo}}{\text{Berat minyak transformator}} \times 100 \\ &= 0,035 \text{ gram} \\ &= 3,5 \% \end{aligned}$$

Berikut ini merupakan alat yang digunakan untuk mengaduk campuran minyak dengan bentonit teraktivasi. Alat pengaduk yang digunakan berupa magnet silinder kecil yang nantinya dimasukkan ke dalam gelas beaker dan berputar ketika saklar dihubungkan ke sumber listrik.

Setelah 24 jam dilanjutkan ke proses *filtering* minyak, yaitu menyaring minyak transformator yang sudah dicampurkan dengan material bentonit menggunakan corong dan *creape paper* atau kertas saring agar endapan dari material bentonit dapat terangkat dari minyak trafo. Setelah proses pencampuran, adsorpsi, dan *filtering* selesai dapat diteruskan ke tahap selanjutnya, yaitu pengujian tegangan tembus dan kadar viskositas dari minyak transformator yang telah dipurifikasi dengan adsorben bentonit.



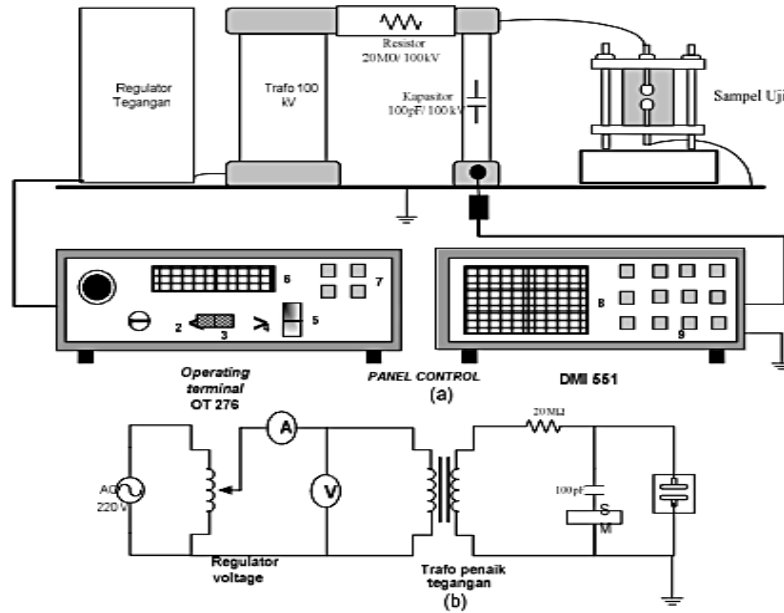
Gambar 3.8 *Magnetic Stirrer*

3.1.6 Pengujian Tegangan Tembus (*Breakdown Voltage*)

Pengujian tegangan tembus merupakan uji pemeliharaan prediktif yang dilakukan terhadap minyak isolasi. Prinsipnya dengan melakukan pengukuran selama 6 kali percobaan, dilakukan dengan menaikkan tegangan hingga rentang nilai tertentu sampai elektroda pada minyak menimbulkan bunyi atau percikan, kemudian diberi selang waktu 3-5 menit untuk gangguan atau jeda waktu sebelum dilakukan proses pengujian berikutnya (Nurul Handayani, Iqbal Hasanudin, Abd. Hafid, 2023).

Pengujian yang dilakukan mengacu pada standar IEC 156, yaitu menggunakan elektroda setengah bola (*mushroom*) dalam suhu ruangan (26°C). Penggunaan elektroda setengah bola pada pengujian tegangan tembus minyak transformator dimaksudkan karena permukaan elektroda setengah bola yang luas sehingga memungkinkan adanya energi yang besar pada elektron yang dapat memudahkan terjadinya tegangan tembus (Gunawan et al., 2015). Adapun peralatan uji yang digunakan yaitu sebagai berikut:

1. Peralatan uji tegangan tembus
 - a. Diagram peralatan uji tegangan tembus



Gambar 3.9 Diagram Alat Uji Tegangan Tembus

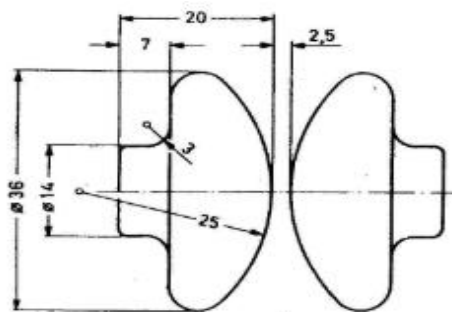
a) Skema Pengujian

b) Rangkaian Pengujian

Sumber: (Ayu & Umiati, 2010)

- b. Elektroda Bola dan *Chamber* uji

Peralatan pembangkit tegangan tinggi AC yang dipakai menggunakan elektroda setengah bola sebanyak dua buah setengah bola elektroda dengan diameter sekitar 25 mm.



Gambar 3.10 Elektroda Setengah Bola

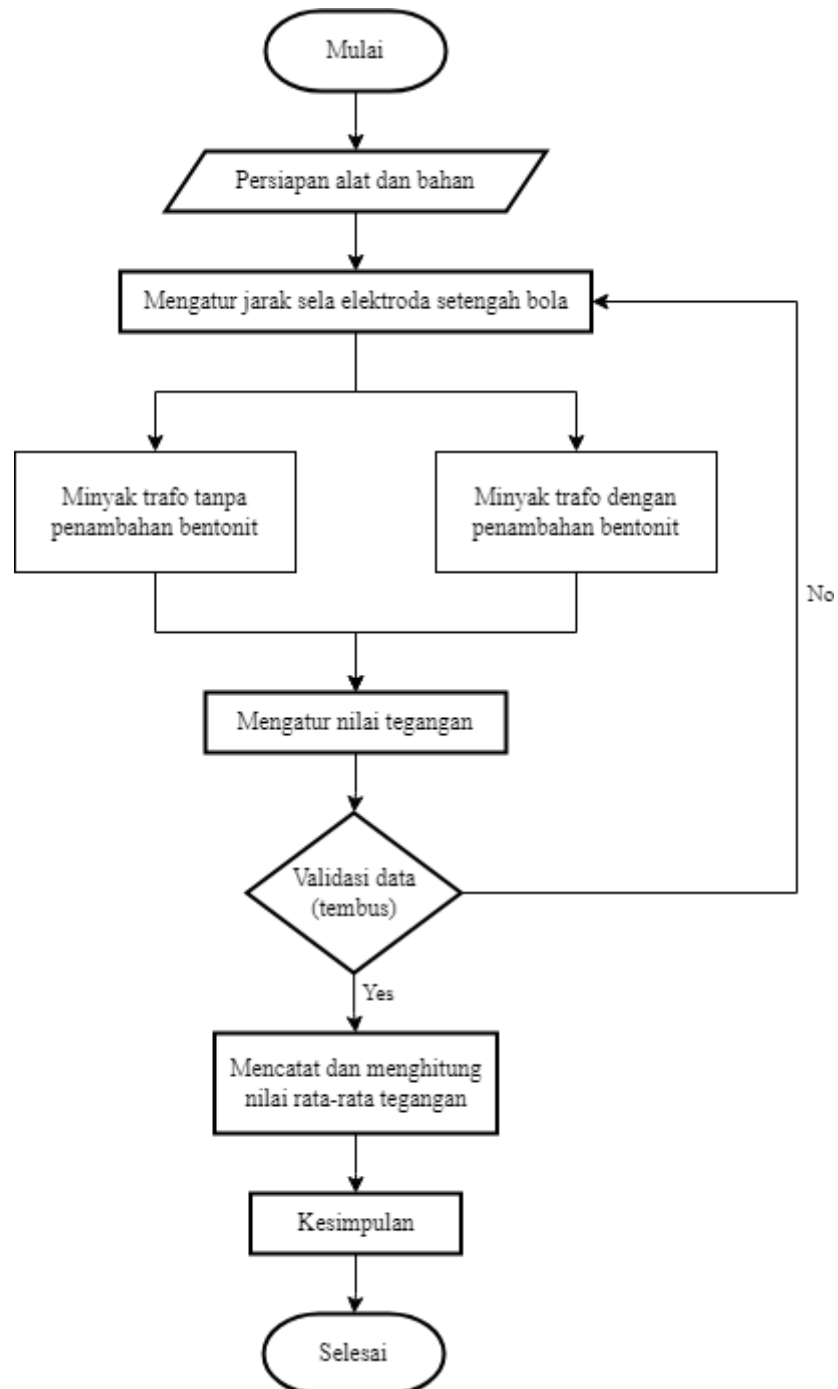
Sumber: (Kunto Wibowo & Syakur, 2011)

Chamber uji terbuat dari gelas silinder berbahan kaca yang terhubung dengan dua buah elektroda seperti terlihat pada gambar berikut:



Gambar 3.11 *Chamber* uji

2. Prosedur Pengujian



Gambar 3.12 Diagram Alir Pengujian Tegangan Tembus

Gambar di atas menunjukkan tahapan atau prosedur pengujian tegangan tembus minyak transformator. Adapun hal-hal yang perlu disiapkan sebelum melakukan pengujian antara lain peralatan dan sampel uji sesuai

standar SPLN dan IEC 156. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada penjelasan di bawah ini:

Berikut ini merupakan prosedur pengujian tegangan tembus pada dielektrik cair yaitu minyak transformator berdasarkan standar IEC 156:

a. Persiapan alat dan bahan

Sebelum melakukan pengujian, pastikan alat uji tegangan tembus yang digunakan menggunakan rangkaian AC. Pastikan kotak uji dalam keadaan bersih untuk menghindari adanya kotoran yang menempel pada komponen elektroda dan kotak uji.

b. Mengatur jarak sela elektroda setengah bola

Sebelum memasukkan sampel uji ke dalam kotak uji, atur terlebih dahulu jarak sela elektroda setengah bola dengan jarak 2,5 mm sesuai dengan standar IEC dan SPLN.

c. Menyiapkan sampel uji

Setelah mengatur jarak sela elektroda, tuangkan minyak secara perlahan ke dalam kotak uji yang telah disiapkan. Kemudian goyangkan kotak uji terlebih dulu secara perlahan untuk memastikan tidak ada gelembung udara dan gas pada bahan dielektrik cair atau bisa didiamkan terlebih dahulu selama 10 menit. Sampel diisi sesuai dengan urutan pengujian, yaitu pada minyak tanpa penambahan bentonit dan minyak dengan penambahan bentonit teraktivasi.

d. Mengatur nilai tegangan

Sumber tegangan yang digunakan yaitu tegangan AC, variasi tegangan diatur melalui layar monitor dan dinaikkan sampai terjadi tembus atau sampai elektroda mengeluarkan percikan dan menimbulkan suara letupan.

e. Validasi data

Percobaan dilakukan sebanyak enam kali terhadap sampel uji yang telah disiapkan dengan selang waktu sekitar 3-5 menit sampai ke pengujian variasi variasi sampel selanjutnya. Apabila belum

memenuhi standar, maka dilakukan pengujian ulang dengan cara dan kondisi yang sama terhadap semua sampel yang dilakukan.

f. Mencatat data dan menarik kesimpulan

Data hasil pengujian kemudian dicatat dan dicari rata-ratanya dari keenam pengujian yang telah dilakukan. Setelah itu memberikan kesimpulan atas hasil percobaan yang telah dilakukan.

3.1.7 Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya kandungan air di dalam minyak trafo. Metode yang digunakan yaitu dengan menghitung perbandingan massa minyak trafo sebelum dan setelah dilakukan pemanasan. Hal ini didasarkan pada proses pemanasan yang dapat merepresentasikan persentase air yang berkurang melalui proses penguapan selama pemanasan berlangsung.

Mengacu pada standar IEC 60814 dan SNI 2490:2008, disebutkan bahwa rentang kadar air yang terukur dari perbandingan massa sebelum dan setelah pemanasan minyak berkisar antara 0%-20% massa (Fischer, 1997). Untuk menghitung nilai persentase kadar air dapat dilakukan melalui persamaan 2.7.



Gambar 3.13 Memmert U10 Oven

Adapun prosedur dalam pemanasan ini yaitu sebagai berikut:

- a. Siapkan sampel uji, tuangkan ke dalam wadah (cawan/loyang) sebanyak 450-500 ml minyak trafo.
- b. Masukkan sampel ke dalam oven, tutup dan hubungkan saklar oven ke sumber listrik.
- c. Atur temperatur dan waktu pemanasan yang diinginkan, dalam pegujian ini yaitu 105°C selama 30 menit.
- d. Tunggu sampai waktu pemanasan selesai dan oven berbunyi.

3.1.8 Pengujian Viskositas

Pengujian viskositas dilakukan untuk mengetahui kadar kekentalan dari minyak yang mengacu pada standar IEC 60296 yaitu kadar viskositas pada suhu 20°C-40°C maksimal 12 mm²/s atau ≤25 cSt. Alat ukur yang digunakan yaitu Viscotester VT-06 RION Digital. Viscotester VT-06 adalah alat yang digunakan untuk mengukur tingkat kekentalan suatu zat cair yang didukung dengan teknologi mekanik dan digital untuk menampilkan pembacaan dari hasil pengukuran. Prinsip kerjanya yaitu menggunakan putaran rotor dalam kecepatan tertentu.



Gambar 3.14 Viscotester VT-06 RION Digital

Alat ukur viskositas ini memiliki tiga rotor, yaitu rotor 3, 2, dan 1. Rotor 3 memiliki *range* dari 0,3-13 dpas, rotor 2 dengan *range* 100-4000 dpas, dan

rotor 1 dengan *range* 3-150 dpas. Semakin besar ukuran rotor maka kadar viskositas yang terukur akan semakin encer, begitupun sebaliknya.

Prosedur pengujian viskositas minyak trafo sebelum purifikasi yaitu sebagai berikut:

- a. Siapkan sampel uji minyak transformator sekitar 500 ml di dalam gelas ukur.
- b. Pasang rotor ke unit dan letakkan unit ke dudukan yang ada pada alat ukur secara horizontal.
- c. Masukkan rotor ke dalam sampel uji minyak transformator dan nyalakan alat ukur.
- d. Tekan tombol start untuk memulai proses pengujian.

Setelah melakukan pengukuran pada sampel uji, catat hasil pengukuran untuk memperoleh rata-ratanya. Karena satuan yang digunakan pada pengujian ini adalah cSt, maka perlu dilakukan konversi dengan mengubah satuan viskositas ke cSt menggunakan rumus pada persamaan 2.6.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di dua tempat yang berbeda. Untuk proses pembuatan sampel uji, purifikasi minyak, pengujian porositas, pengujian kadar air, dan pengujian tegangan tembus dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Siliwangi, sedangkan untuk pengujian kadar viskositas dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Bandung. Waktu penelitian yaitu pada bulan maret sampai selesai.